

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000068594 A**

(43) Date of publication of application: 03.03.00

(51) Int. Cl.

**H01S 5/30**  
**H01L 33/00**

(21) Application number: **10199829**

(22) Date of filing: **29.06.98**

(30) Priority: **01.09.97 JP 09235524**  
**20.10.97 JP 09286304**  
**08.06.98 JP 10176634**

(71) Applicant: **NICHIA CHEM IND LTD**

(72) Inventor: **MARUI HIROMITSU**  
**MITANI TOMOJI**  
**TANIZAWA KOJI**  
**MUKAI TAKASHI**  
**NAKAMURA SHUJI**

**(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT**

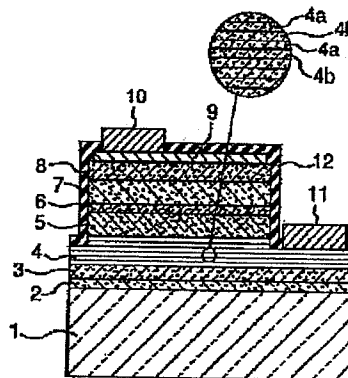
**(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve output of a nitride semiconductor element, lower forward voltage and the threshold voltage and improve electrostatic breakdown strength characteristic by providing a superlattice layer wherein a plurality of layers including first and second nitride semiconductor layers of which one layer at least is doped with n-type impurities are laminated between a substrate and an active layer.

**SOLUTION:** A nitride semiconductor light emitting element has a superlattice structure which is formed between an active layer 6 and a substrate 1 and wherein a first nitride semiconductor layer 4a and a second nitride semiconductor layer 4b are laminated alternately in an n-electrode formation layer 4 wherein an n-electrode is formed. Therefore, an n-electrode formation layer is made a layer of good crystallinity. Furthermore, its resistance can be made low and a forward voltage  $V_f$  of a light emitting element can be made low. In this case, crystallinity of the n-electrode formation layer 4 and the active layer 6 can be made good by forming

an undoped nitride semiconductor layer 3 between the substrate 1 and the n-electrode formation layer 4 and forming the active layer 6 on an undoped semiconductor layer 5 which is formed on the n-electrode formation layer 4.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-68594

(P2000-68594A)

(43) 公開日 平成12年3月3日(2000.3.3)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I           | テマコード*(参考)  |
|---------------------------|------|---------------|-------------|
| H 0 1 S 5/30              |      | H 0 1 S 3/18  | 5 F 0 4 1   |
| H 0 1 L 33/00             |      | H 0 1 L 33/00 | C 5 F 0 7 3 |

審査請求 未請求 請求項の数17 F D (全 13 頁)

|              |                        |          |   |
|--------------|------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号    | 特願平10-199829           | (71) 出願人 | 000226057<br>日亜化学工業株式会社<br>徳島県阿南市上中町岡491番地100 |
| (22) 出願日     | 平成10年6月29日(1998.6.29)  | (72) 発明者 | 丸居 宏充<br>徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内       |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平9-235524            | (72) 発明者 | 三谷 友次<br>徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内       |
| (32) 優先日     | 平成9年9月1日(1997.9.1)     | (74) 代理人 | 100074354<br>弁理士 豊栖 康弘 (外1名)                  |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)               |          |   |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平9-286304            |          |   |
| (32) 優先日     | 平成9年10月20日(1997.10.20) |          |   |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)               |          |   |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平10-176634           |          |   |
| (32) 優先日     | 平成10年6月8日(1998.6.8)    |          |   |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)               |          |   |

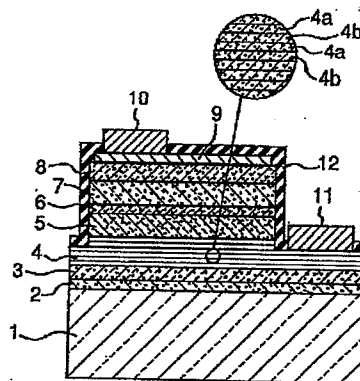
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 LED及びLD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、V<sub>f</sub>、閾値電圧を低下させて素子の信頼性を向上させる。

【解決手段】 基板と活性層の間に、少なくとも一方にはn型不純物がドーパされた第1と第2の窒化物半導体層を含む複数の層が積層された超格子層を備えた。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と活性層の間に、少なくとも一方にはn型不純物がドーパされた第1と第2の窒化物半導体層を含む複数の層が積層された超格子層を備えたことを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記第1と第2の窒化物半導体層は互いに同一組成の窒化物半導体からなり互いに不純物濃度が異なる請求項1記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記第1と第2の窒化物半導体層のうちの一方にはn型不純物がドーパされ他方にはn型不純物がドーパされていない請求項1又は2記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記n型不純物がドーパされた一方の層の厚さを、前記n型不純物がドーパされていない層より薄くした請求項3記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記第1と第2の窒化物半導体層はそれぞれ、Ga<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>からなり、前記n型不純物がSiである請求項2～4のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 前記超格子層は、前記活性層と接するように形成されている請求項1～5のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記超格子層をn電極が形成されるn電極形成層として備えたことを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体素子。

【請求項8】 前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層とは、互いに異なるバンドギャップエネルギーと互いに異なるn型不純物濃度とを有する請求項7記載の窒化物半導体素子。

【請求項9】 前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの大きい方の層にn型不純物が多くドーパされている請求項8記載の窒化物半導体素子。

【請求項10】 前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの小さい方の層にn型不純物が多くドーパされている請求項8記載の窒化物半導体素子。

【請求項11】 前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層とは互いに異なるバンドギャップエネルギーを有し、かつ一方の層にはn型不純物がドーパされ、他方の層にはn型不純物がドーパされていない請求項7記載の窒化物半導体素子。

【請求項12】 前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの大きい方の層にn型不純物がドーパされている請求項11記載の窒化物半導体素子。

【請求項13】 前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの小さい方の層にn型不純物がドーパされている請求項11記載の窒化物半導体素子。

【請求項14】 前記n電極形成層は、n型不純物濃度が互いに異なる他は互いに同一の組成を有する第1と第2の窒化物半導体層を含む層が積層されてなる請求項11記載の窒化物半導体素子。

【請求項15】 前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層のうちの一方にはn型不純物がドーパされていない請求項14記載の窒化物半導体素子。

【請求項16】 前記第1と第2の窒化物半導体層のうちn型不純物を多く含む層のn型不純物濃度が $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上に設定されている請求項7～15のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項17】 前記超格子層に接して前記活性層が形成されている請求項7～16のうちのいずれか1つに記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は発光ダイオード素子、レーザダイオード素子等の発光素子、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに用いられる窒化物半導体 ( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ,  $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) よりなる素子に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度純緑色発光LED、青色LEDとして、既にフルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナ光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>よりなるバッファ層と、SiドーパGa<sub>x</sub>Nよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造のInGa<sub>x</sub>N、あるいはInGa<sub>x</sub>Nを有する多重量子井戸構造の活性層と、MgドーパAlGa<sub>x</sub>Nよりなるp側クラッド層と、MgドーパGa<sub>x</sub>Nよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。

【0003】また、本出願人はこの材料を用いてパルス電流下、室温での410nmの発振を世界で初めて発表した(例えば、Jpn. J. Appl. Phys. 35 (1996) L74、Jpn. J. Appl. Phys. 35 (1996) Lz17等)。このレーザ素子は、InGa<sub>x</sub>Nを用いた多重量子井戸構造(MQW: Multi-Quantum-Well)の活性層を有するダブルヘテロ構造を有し、パルス幅2μs、パルス周期2msの条件で、閾値電流610mA、閾値電流密度8.7kA/cm<sup>2</sup>、410nmの発振を示す。また、本出願人は室温での連続発振にも初めて成功し、発表した。(例えば、日経エレクトロニクス1996年12月2日号技術速報、Appl. Phys. Lett. 69

(1996) 8034-、Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 4056-等)、このレーザ素子は20℃において、閾値電流密度3.6 kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧5.5V、1.5 mW出力において、27時間の連続発振を示す

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように窒化物半導体はLEDで既に実用化され、LDでは数十時間ながら連続発振にまで至っているが、LEDを例えば照明用光源、直射日光の当たる屋外ディスプレイ等に使用するためにはさらに出力の向上が求められている。しかしながら、高出力を得ようとすれば、静電耐圧が悪化する等十分な信頼性を確保することが困難であった。またLDでは閾値を低下させて長寿命にし、光ピックアップ、DVD等の光源に実用化するためには、よりいっそうの改良が必要である。また前記LED素子は20mAにおいてVfが3.6V近くある。Vfをさらに下げることにより、素子の発熱量が少なくなって、信頼性が向上する。またレーザ素子では閾値における電圧を低下させることは、素子の寿命を向上させる上で非常に重要である。本発明はこのような事情を鑑みて成されたものであって、その目的とするところは、主としてLED、LD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、Vf、閾値電圧を低下させかつ静電耐圧特性を向上させて素子の信頼性を向上させることにある。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】以上の目的を達成するために、本発明に係る窒化物半導体素子は、基板と活性層の間に、少なくとも一方にはn型不純物がドーパされた第1と第2の窒化物半導体層を含む複数の層が積層された超格子層を備えたことを特徴とする。このようにすると、前記超格子層を結晶欠陥の少ない結晶性の良好な層とでき、これによって上方に成長される活性層の結晶性を良好にできる。ここで、本明細書において、超格子層又は超格子構造とは、互いに組成が異なる少なくとも2種類の窒化物半導体層が積層されてなる多層膜、及び互いに同一組成を有しかつn型不純物が互いに異なる濃度でドーパされた2種類の層が積層された多層膜の双方を含むものとする。また、超格子構造とは膜厚100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下の窒化物半導体層を多層膜構造に積層した構造を指すものとする。

【0006】前記本発明の窒化物半導体素子においては、前記超格子層をより結晶欠陥の少ない層としかつ上方に成長される活性層の結晶性をより良好にするために、前記第1と第2の窒化物半導体層は互いに同一組成の窒化物半導体からなり互いに不純物濃度が異なる層であることが好ましい。

【0007】前記本発明の窒化物半導体素子において

は、前記超格子層をさらに結晶欠陥の少ない層としかつ上方に成長される活性層の結晶性をさらに良好にするために、前記第1と第2の窒化物半導体層のうちの一方にはn型不純物がドーパされ他方にはn型不純物がドーパされていないことが好ましい。

【0008】前記本発明の窒化物半導体素子においては、静電耐圧特性を良好にするために、前記n型不純物がドーパされた一方の層の厚さを、前記n型不純物がドーパされていない層より薄くすることが好ましい。

【0009】前記本発明の窒化物半導体素子において、第1と第2の窒化物半導体層をそれぞれ、GaNとし、前記n型不純物をSiとすることができ、このようにするとInを含む活性層を結晶性よく成長させることができる。

【0010】前記本発明の窒化物半導体素子においては、結晶性の良い活性層を成長させる機能を効果的に発揮させるために、前記超格子層は前記活性層と接するように形成されていることが好ましい。

【0011】本発明に係る窒化物半導体素子は、前記超格子層をn電極が形成されるn電極形成層として備えていてもよく、このようにすると、比較的キャリア濃度の高くかつn電極と良好なオーミック接触させることができるn電極形成層を形成できる。

【0012】また、本発明のn電極形成層として超格子層を備えた窒化物半導体素子において、n電極形成層は、互いに異なるバンドギャップエネルギーと互いに異なるn型不純物濃度とを有する第1と第2の窒化物半導体層で形成することができる。この場合、前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの大きい方の層にn型不純物を多くドーパするようにしても良いし、バンドギャップエネルギーの小さい方の層にn型不純物を多くドーパするようにしてもよい。

【0013】また、本発明のn電極形成層として超格子層を備えた窒化物半導体素子においては、互いに異なるバンドギャップエネルギーを有し、かつ一方の層にはn型不純物がドーパされ他方の層にはn型不純物がドーパされていない第1と第2の窒化物半導体層を用いてn電極形成層を形成することが好ましい。

【0014】この場合、前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの大きい方の層にn型不純物をドーパするようにしてもよいし、バンドギャップエネルギーの小さい方の層にn型不純物をドーパするようにしてもよい。

【0015】ここで、n型不純物がドーパされていない層とは、意図的にn型不純物をドーパしないで形成した層を指し、例えば、原料に含まれる不純物の混入、反応装置内のコンタミネーションによる不純物の混入、および意図的に不純物をドーパした他の層からの意図しない拡散により不純物が混入した層も含まれる。

【0016】また、本発明のn電極形成層として超格子層を備えた窒化物半導体素子において、前記n電極形成層は、n型不純物濃度が互いに異なる他は互いに同一の組成を有する第1と第2の窒化物半導体層を含む層を積層することにより形成することもできる。この場合、前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層のうちの一方にはn型不純物がドーパされていないことが好ましい。

【0017】さらに、本発明のn電極形成層として超格子層を備えた窒化物半導体素子において、n電極形成層のキャリア濃度を高くするために、前記第1と第2の窒化物半導体層のうちn型不純物を多く含む層のn型不純物濃度は $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上に設定されていることが好ましい。これによって、n電極とのより良好なオーミック接触が得られる。

【0018】また、本発明のn電極形成層として超格子層を備えた窒化物半導体素子において、前記超格子層に接して前記活性層が形成されていることが好ましい。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明に係る実施の形態の窒化物半導体発光素子について説明する。

(実施の形態1) 図1は実施の形態1に係る一窒化物半導体発光素子の模式的断面図であり、該窒化物半導体発光素子は、活性層と基板との間に形成される、n電極が形成されるn電極形成層4を、第1の窒化物半導体層4aと第2の窒化物半導体層4bが交互に積層された超格子構造としたことを特徴とする。これによって、本実施の形態1の窒化物半導体発光素子は、n電極形成層を極めて欠陥の少ない結晶性の良い層とすることができ、しかもその抵抗値を低くできるので、発光素子の順方向電圧 $V_f$ を低くできるという優れた特性を有する。また、本実施の形態1では、基板1とn電極形成層4との間にアンドープ窒化物半導体層3を形成することによりn電極形成層の結晶性をさらに良好なものとし、n電極形成層4の上にアンドープ窒化物半導体層5を形成しその層5の上に活性層6を形成することにより、活性層6の結晶性を良好なものにしている。尚、アンドープ窒化物半導体層3、5は本発明において必須の要件ではない。

【0020】本実施の形態1において、n電極形成層はn型不純物を含む超格子構造のn型窒化物半導体としている。n型不純物としては第4族元素が挙げられるが、好ましくはSi若しくはGe、さらに好ましくはSiを用いる。このように超格子構造とすると、その超格子層を構成する第1と第2の窒化物半導体層の各膜厚が弾性臨界膜厚以下となるために、結晶欠陥の非常に少ない窒化物半導体を成長させることができる。さらに、この超格子構造のn電極形成層により下の層(例えば、アンドープ窒化物半導体層3)で発生している結晶欠陥をある程度止めることができるため、n電極形成層の上に成長

させる活性層の結晶性を良くすることができる。さらに、n電極形成層には特筆すべき作用としてはHEMTに類似した効果がある。

【0021】このn電極形成層4は、互いにバンドギャップエネルギーの異なる第1の窒化物半導体層4aと第2の窒化物半導体層4bとを積層して構成することができ、この場合、第1の窒化物半導体層4aと第2の窒化物半導体層4bとは互いに不純物濃度が異なることが好ましい。第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の各膜厚は、好ましくは100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは10~40オングストロームの膜厚に調整する。100オングストロームよりも厚いと、第1と第2の窒化物半導体層が弾性歪み限界に近い又はそれ以上の膜厚となり、膜中に微少なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすい傾向にある。また、本発明は第1と第2の窒化物半導体層の膜厚の下限値によって限定されるものではなく1原子層以上であればよいが、前記のように10オングストローム以上が最も好ましい。

【0022】さらに第1と第2の窒化物半導体層のうちバンドギャップエネルギーの大きい方の窒化物半導体層(以下、実施の形態1の説明においては、第1の窒化物半導体層のバンドギャップエネルギーの方が、第2の窒化物半導体層より大きいものとして説明する。)は、少なくともAlを含む窒化物半導体、好ましくは $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ) 若しくはGa<sub>2</sub>Nを成長させて形成することが望ましい。一方、バンドギャップエネルギーの小さい方の第2の窒化物半導体層は、第1の窒化物半導体層よりもバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体であればどのようなものでも良いが、好ましくは $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y < 1$ ,  $x > y$ )、 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $0 \leq z < 1$ ) のような2元混晶、3元混晶の窒化物半導体が成長させやすく、また結晶性の良いものが得られやすい。またさらに好ましくは、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層は実質的にInを含まない $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) とし、バンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層は実質的にAlを含まない $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $0 \leq z < 1$ ) とする。その中でも結晶性に優れた超格子を得る目的で、第1の窒化物半導体層としてAl混晶比(Y値)0.3以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 0.3$ ) を用い、第2の窒化物半導体層としてGa<sub>2</sub>Nを用いる組み合わせ、又は高不純物濃度のGa<sub>2</sub>Nと低不純物濃度若しくはアンドープのGa<sub>2</sub>Nの組み合わせが最も好ましい。

【0023】n電極形成層を、光閉じ込め層、及びキャリア閉じ込め層としてクラッド層として機能させる場合、n電極形成層として活性層の井戸層よりもバンドギャップエネルギーの大きい窒化物半導体を成長させる必要があり、バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層としてAl混晶比の高い窒化物半導体を使用され

る。このA1混晶比の高い窒化物半導体を、光閉じ込め層、及びキャリア閉じ込め層として機能させることができる比較的厚く成長させると、成長させた層にクラックが入りやすくなるため、結晶性の良好な層を形成することが非常に難しかった。しかしながら本発明のように超格子層にすると、超格子層を構成する単一層（第1の窒化物半導体層）をA1混晶比の多少高い層としても、弾性臨界膜厚以下の膜厚で成長させているのでクラックが入りにくい。そのため、本発明によれば全体としてA1混晶比の高い層を結晶性良く成長することができるので、光閉じ込め、キャリア閉じ込め効果が高い層とでき、レーザ素子では閾値電圧、LED素子ではVf（順方向電圧）を低下させることができる。

【0024】さらに、上述したように、このn電極形成層のバンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層とのn型不純物濃度が異なることが好ましいが、これはいわゆる変調ドーピングと呼ばれるもので、一方の層のn型不純物濃度を小さく、好ましくは不純物をドーピングしない状態（アンドープ）として、もう一方を高濃度にドーピングすると、閾値電圧、Vf等を低下させることができるからである。すなわち、超格子層中の不純物濃度の低い層では移動度を大きくでき、また不純物濃度の高い層ではキャリア濃度を高くできることにより、超格子層全体として、キャリア濃度を高くかつ移動度を大きくできる。つまり、不純物濃度が低い移動度の高い層と、不純物濃度が高いキャリア濃度が大きい層とが同時に存在することにより、キャリア濃度が大きく、移動度も大きいn電極形成層をクラッド層として用いることにより、閾値電圧、Vfを低下させることができるものと推察される。尚、本明細書において、アンドープ（undoped）の窒化物半導体層とは意図的に不純物をドーピングしない窒化物半導体層を指し、例えば、原料に含まれる不純物の混入、反応装置内のコンタミネーションによる不純物の混入、および意図的に不純物をドーピングした他の層からの意図しない拡散により不純物が混入した層も本発明ではアンドープと定義する（実質的なアンドープ）。

【0025】また、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層に高濃度に不純物をドーピングした場合、この変調ドーピングにより高不純物濃度層（第1の窒化物半導体層）と、低不純物濃度層（第2の窒化物半導体層）との間に2次元電子ガスができ、この2次元電子ガスの影響により抵抗率が低下すると推察される。例えば、n型不純物がドーピングされたバンドギャップの大きい第1の窒化物半導体層と、バンドギャップが小さいアンドープの第2の窒化物半導体層とを積層した超格子層では、n型不純物を添加した層と、アンドープの層とのヘテロ接合界面で、障壁層（第1の窒化物半導体層）側が空乏化し、バンドギャップの小さい層側の厚さ前後の界

面に電子（2次元電子ガス）が蓄積する。この2次元電子ガスがバンドギャップの小さい側にできるので、電子が走行するときに不純物による散乱を受けないため、超格子の電子の移動度が高くなり、抵抗率が低下する。なおp側の窒化物半導体層を超格子構造とし変調ドーピングしても同様に2次元正孔ガスによる効果が期待できるものと推察される。またp層の場合、AlGaInはGaInに比較して抵抗率が高い。そこでAlGaInの方にp型不純物を多くドーピングすることにより抵抗率を低下させることができると考えられ、より効果的に順方向電圧又は閾値電圧電流を低下させることができると推察される。

【0026】また、p側の窒化物半導体層を超格子構造とし、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層に高濃度に不純物をドーピングした場合、以下のような作用があると推察される。例えばAlGaIn層とGaIn層にMgを同量でドーピングした場合、AlGaIn層ではMgのアクセプタ準位の深さが大きく、活性化率が小さい。一方、GaIn層のアクセプタ準位の深さはAlGaIn層に比べて浅く、Mgの活性化率は高い。例えばMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしてもGaInでは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 程度のキャリア濃度であるのに対し、AlGaInでは $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 程度のキャリア濃度しか得られない。そこで、本発明ではAlGaIn/GaInとで超格子とし、高キャリア濃度が得られるGaIn層の方に多く不純物をドーピングすることにより、高キャリア濃度の超格子が得られるものである。しかも超格子としているため、トンネル効果でキャリアは不純物濃度の少ないAlGaIn層を移動するため、実質的にキャリアはAlGaIn層の作用は受けず、AlGaIn層はバンドギャップエネルギーの高いクラッド層として作用する。従って、バンドギャップエネルギーの小さな方の窒化物半導体層に不純物を多くドーピングしても、レーザ素子、LED素子の閾値を低下させる上で非常に効果的である。なおこの説明はp型層側に超格子を形成する例について説明したが、n層側に超格子を形成する場合においても、同様の作用効果がある。

【0027】バンドギャップエネルギーが大きい第1の窒化物半導体層にn型不純物を多くドーピングする場合、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層への好ましいドーピング量としては、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも少ないと、バンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層との差が少なくなると、キャリア濃度の大きい層が得られにくい傾向にあり、また $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ よりも多いと、素子自体のリーク電流が多くなりやすい傾向にある。一方、バンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層のn型不純物濃度はバンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層よりも少なければ良く、好ましくは $1/10$ 以

上少ない方が望ましい。最も好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られるが、膜厚が薄いため、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体側から拡散してくるn型不純物があり、その量は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。n型不純物としてはSi、Ge、Se、S、O等の周期律表第IVB族、VIB族元素を選択し、好ましくはSi、Ge、Sをn型不純物とする。この作用は、バンドギャップエネルギーが大きい第1の窒化物半導体層にn型不純物を少なくドーピングして、バンドギャップエネルギーが小さい第2の窒化物半導体層にn型不純物を多くドーピングする場合も同様である。以上、超格子層に不純物を好ましく変調ドーピングする場合について述べたが、バンドギャップエネルギーが大きい第1の窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーが小さい第2の窒化物半導体層との不純物濃度を等しくすることもできる。また、第1と第2の窒化物半導体層のうち、n型不純物を多く含む層のn型不純物濃度は $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上に設定されていることが好ましく、これによって、n電極形成層4のキャリア濃度を高くでき、n電極と良好なオーミック接触をさせることができる。

【0028】本実施の形態1において、アンドープ窒化物半導体層3は、n型不純物を含むn電極形成層4をさらに結晶性よく成長させるためにアンドープとしている。この窒化物半導体層3はアンドープであることが最も好ましいが、n電極形成層4を超格子構造とすることにより結晶性の良好な層としているので、n型不純物がn電極形成層よりも少なくなるようにドーピングした層を用いてもよい。尚、n型不純物としては第4族元素が挙げられるが、好ましくはSi若しくはGe、さらに好ましくはSiを用いる。

【0029】また、本実施の形態1の発光素子では、n電極形成層4上にアンドープ窒化物半導体層5を形成し、該層5の上に活性層6を形成している。このアンドープ窒化物半導体層5は、その上に成長させる活性層6のバッファ層として作用して、活性層を成長させやすくする。すなわち、超格子層の上に直接不純物を多く含む窒化物半導体層を成長させると、成長させる層の結晶性が悪くなる傾向があるので、層5を結晶性良く成長させるためにはn型不純物濃度を少なくすることが好ましく、最も好ましくはアンドープとするのである。さらに抵抗率の比較的高いアンドープ窒化物半導体層5を活性層6とn電極形成層4との間に介在させることにより、素子のリーク電流を防止し、逆方向の耐圧を高くすることができる。このアンドープ窒化物半導体層5の上述の機能を効果的に発揮させるためには、この層5はアンドープであることが最も好ましいが、n型不純濃度がn電極形成層4よりも少ない層であれば、上述の機能は発揮し得る。また、アンドープ窒化物半導体層5の組成は特に問うものではないが、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq$

1)、好ましくは、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 0.5$ ) を成長させることにより、その窒化物半導体層5の上に成長させる層に対してより有効なバッファ層として作用して、さらに層5から上の層を容易にかつ結晶性よく成長させることができる。

【0030】さらにまた、本実施の形態1の窒化物半導体発光素子において、アンドープ窒化物半導体層5は、 $0.5 \mu\text{m}$ 以下の厚さに形成することが好ましく、より好ましくは2000オングストローム以下、さらに好ましくは1500オングストローム以下になるように形成する。また、層5の下限は特に限定しないが10オングストローム以上に調整することが望ましい。アンドープ窒化物半導体層は、抵抗率が通常 $1 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上と高いため、この層を $0.1 \mu\text{m}$ よりも厚い膜厚で成長させると、逆に順方向電圧Vfが低下しにくくなる。

【0031】また本実施の形態1の窒化物半導体発光素子では、基板とアンドープ窒化物半導体層3との間に、アンドープ窒化物半導体層3よりも低温で成長されるバッファ層を有していても良い。バッファ層は例えばAlN、GaN、AlGaN等を $400^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ において、 $0.5 \mu\text{m}$ 以下の膜厚で成長させることができ、基板と窒化物半導体との格子不整合を緩和、あるいはアンドープ窒化物半導体層を結晶性よく成長させるための下地層として作用する。

【0032】(実施の形態2) 本発明に係る実施の形態2の窒化物半導体発光素子は、図3に示すように活性層44の直下に接して超格子構造のn型超格子層43を形成したことを特徴とし、これによって、結晶性の優れた活性層44を形成することができ、高出力特性と優れた静電耐圧特性が実現できる。すなわち、上述の実施の形態1は窒化物半導体からなるn型の超格子層が優れたn型電極形成層として機能することに着目したものであるのに対し、実施の形態2の窒化物半導体発光素子は、n型超格子層43上に結晶性の優れた活性層44を成長させることができることに着目して利用したものである。

【0033】詳細に説明すると、実施の形態2の窒化物半導体発光素子において、基板1上にバッファ層2及び例えばアンドープのGaNからなるアンドープ窒化物半導体層41を介して、例えばn型のGaNからなるn電極形成層42を形成する。そして、n電極形成層42上に、n型超格子層43を介して活性層44を形成する。さらに、活性層44上に、例えば、Mgドーピングのp側クラッド層(p型AlGaN層)45、Mgドーピングのp型GaNからなるp側コンタクト層46を介して透光性p電極9及びpパッド電極を形成する。

【0034】ここで、n型超格子層43は、第1の窒化物半導体層43aと第2の窒化物半導体層43bとが交互に積層された超格子構造を有し、全体としてn型の導電性を有しかつ極めて良好な結晶性を有する。尚、本実施の形態2において、n型不純物としては第4族元素が

挙げられるが、好ましくはSi若しくはGe、さらに好ましくはSiを用いる。このn型超格子層43は、その超格子層を構成する第1と第2の窒化物半導体層の各膜厚が弾性臨界膜厚以下となるために、結晶欠陥の非常に少ない層とできる。すなわち、本実施の形態2では、この結晶性の良好なn型超格子層43によって、そのn型超格子層43より下のn電極形成層42で発生した結晶欠陥をある程度止めることができ、この機能によって、n型超格子層43上に成長させる活性層44の結晶性を良くすることができる。一般にn電極形成層42は、低抵抗とするためにn型不純物を多くドーピングするために、比較的多くの結晶欠陥を含む。従って、n電極形成層42と活性層44との間にn型超格子層43を形成することは、結晶性の良好な活性層44を形成する上で極めて効果的である。

【0035】この第1の窒化物半導体層43a及び第2の窒化物半導体層43bの各膜厚は、好ましくは100オングストローム以下に調整する。100オングストロームよりも厚いと、第1と第2の窒化物半導体層が弾性歪み限界に近い又はそれ以上の膜厚となり、膜中に微小なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすくなるからである。このn型超格子層43は、互いに組成の異なる第1の窒化物半導体層43aと第2の窒化物半導体層43bを用いて構成してもよいが、互いに同一組成を有しかつ一方をアンドープ又は低いn型不純物濃度とし他方を高いn型不純物濃度とした第1と第2の窒化物半導体層を用いて構成することが好ましく、さらに好ましくは、第1と第2の窒化物半導体層を互いに同一組成とし、一方をアンドープとし他方にn型不純物をドーピングしたものを用いる。さらに、第1と第2の窒化物半導体層を、一方をアンドープとし他方にn型不純物をドーピングして用いる場合、n型不純物をドーピングした他方の層は、アンドープの一方の層より薄くすることが好ましく、これによりさらに超格子層自身の結晶性を良好にできかつその上に成長させる活性層の結晶性をさらに良好にできる。また、発光層としてInGa<sub>N</sub>とGa<sub>N</sub>との多重量子井戸構造の活性層44を用いる場合、n型不純物がドーピングされたGa<sub>N</sub>とアンドープのGa<sub>N</sub>との組み合わせたn型超格子層43を用いることが最も好ましい。尚、本明細書において、超格子層とは互いに同一組成を有しかつ互いに不純物濃度が異なる第1と第2の窒化物半導体層とを交互に積層した層も含むものとする。

【0036】さらに本発明において、第1と第2の窒化物半導体層とは、互いにバンドギャップエネルギーが異なってもよく、第1と第2の窒化物半導体層として互いにAlの含有量が異なる窒化物半導体、又は一方をAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (0<X≤1)とし他方をGa<sub>N</sub>とする組み合わせ等、実施の形態1におけるn型電極形成層4と同様、種々組み合わせて用いることができる。

【0037】以上のように構成された実施の形態2の窒

化物半導体発光素子は、高濃度にn型不純物がドーピングされているため比較的多くの結晶欠陥を含むn型電極形成層42上に、結晶性のよいn型超格子層43を介して活性層44を形成している。これによって、実施の形態2の窒化物半導体発光素子では、n型電極形成層42の結晶欠陥の影響を受けることなく、層数が多くかつ結晶性のよい量子井戸構造の活性層44を形成することができるので、静電耐圧を悪化させることなく高出力を得ることができる。

【0038】以上説明した実施の形態2の窒化物半導体発光素子では、n型電極形成層42に接してn型超格子層43を形成し、n型超格子層43に接して活性層44を形成した。しかしながら、本発明はこれに限らず、n型電極形成層42との間及びn型超格子層43と活性層44との間のいずれか一方又は双方に1又は2以上の窒化物半導体層を有していてもよい。以上のように構成しても、実施の形態2と同様の作用効果を有する。

【0039】(実施の形態3) 本発明に係る実施の形態3の窒化物半導体発光素子は、図4に示すように実施の形態2のn電極形成層42及びn型超格子層43とに代えて、n型超格子層53を形成した以外は実施の形態2と同様に構成される。すなわち、実施の形態3の窒化物半導体発光素子において、n型超格子層53は、実施の形態1における超格子構造のn電極形成層4の機能と実施の形態2におけるn型超格子層43の機能とを併せ持つ超格子層である。ここで、本実施の形態3において、n型超格子層53を構成する第1の窒化物半導体層53a及び第2の窒化物半導体層53bとはそれぞれ、実施の形態1、2の第1及び第2の窒化物半導体層と同様に構成される。

【0040】以上のように構成された実施の形態3の窒化物半導体発光素子は、低抵抗でかつn型電極と良好なオーミック接触が可能で、しかも結晶性がよく層数の多い量子井戸構造の活性層を成長させることができるn型超格子層53を備えている。従って、実施の形態3の窒化物半導体発光素子は、比較的低い順方向電圧で静電耐圧を悪化させることなく高出力を得ることができる。

【0041】以上の実施の形態1～3では、LED素子を例に挙げて説明したが、本発明はレーザーダイオードにも適用することができることは言うまでもなく、その場合においても、実施の形態1～3と同様の効果を有する。

【0042】

【実施例】[実施例1] 図1は本発明の一実施例に係るLED素子の構造を示す模式的な断面図であり、以下この図を元に、本発明の素子の製造方法について述べる。

【0043】サファイア(C面)よりなる基板1を反応容器内にセットし、容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。基板1にはサファイア



C面の他、R面、A面を主面とするサファイア、その他、スピネル ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) のような絶縁性の基板の他、SiC (6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0044】(バッファ層2) 続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG (トリメチルガリウム) とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0045】(アンドープ窒化物半導体 (GaN) 層3) バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層3を5μmの膜厚で成長させる。アンドープGaN層3はバッファ層よりも高温、例えば900℃~1100℃で成長させる。このアンドープGaN層3の膜厚は特に問うものではなく、バッファ層よりも厚膜で成長させ、通常0.1μm以上の膜厚で成長させる。この層はアンドープ層としたため真性半導体に近く、抵抗率は0.2Ω・cmよりも大きい。Si、Ge等のn型不純物をn電極形成層よりも少なくドーピングして抵抗率を低下させた層としても良い。

【0046】(n電極形成層4) 続いて1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層を20オングストローム成長させ、続いて同濃度にてシランガスを追加しSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーピングしたGaN層を20オングストロームの膜厚で成長させ、そしてSiを止めてアンドープGaN層を60オングストロームの膜厚で成長させる。このようにして、20オングストロームのアンドープGaN層からなる第1の窒化物半導体層と、SiドーピングGaNからなる60オングストロームの第2の窒化物半導体層とからなるベアを成長させる。そしてベアを250層積層して2μm厚として、超格子構造よりなるn電極形成層4を成長させる。

【0047】(活性層6) 次に、温度を800℃にして、キャリアガスを窒素に切り替え、TMG、TMI (トリメチルインジウム)、アンモニアを用いアンドープ $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層を30オングストロームの膜厚で成長させて単一量子井戸構造を有する活性層6を成長させる。なおこの層はInGaNよりなる井戸層を有する多重量子井戸構造としても良い。

【0048】(p側クラッド層7) 次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、 $\text{Cp}2\text{Mg}$  (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるp側クラッド層7を0.1μmの膜厚で成長させる。この層はキャリア閉じ込め層として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくは $\text{Al}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$  ( $0 < Y < 1$ ) を成長させることが望ましく、結晶性の良い層を

成長させるためにはY値が0.3以下の $\text{Al}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ 層を0.5μm以下の膜厚で成長させることが望ましい。また、p側クラッド層7が超格子層であってもよく、p側層に超格子層があると、レーザ素子を作製した場合は閾値を低くでき、発光ダイオードでは発光開始電圧を低くできるので好ましい。p側層において超格子層となりうる層は特に限定されない。

【0049】(p側コンタクト層8) 続いて1050℃で、TMG、アンモニア、 $\text{Cp}2\text{Mg}$ を用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型GaNよりなるp側コンタクト層8を0.1μmの膜厚で成長させる。p側コンタクト層8も $\text{In}_X\text{Al}_Y\text{Ga}_{1-X-Y}\text{N}$  ( $0 \leq X, 0 \leq Y, X+Y \leq 1$ ) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaNとすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすく、またp電極材料と好ましいオーミック接触が得られやすい。

【0050】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0051】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層8の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE (反応性イオンエッチング) 装置でp側コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すようにn電極形成層4の表面を露出させる。

【0052】エッチング後、最上層にあるp側コンタクト層のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNiとAuを含む透光性のp電極9と、そのp電極9の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極10を0.5μmの膜厚で形成する。一方エッチングにより露出させたn電極形成層4の表面にはWとAlを含むn電極11を形成する。最後にp電極9の表面を保護するためにSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜12を図1に示すように形成した後、ウェーハをスクライブにより分離して350μm角のLED素子とする。

【0053】このLED素子は順方向電圧20mAにおいて、520nmの純緑色発光を示し、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドーピングGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造のInGaNよりなる活性層と、MgドーピングAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドーピングGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された従来の緑色発光LEDと比較して、20mAにおけるVfを0.2~0.4V低下させ、出力を40%~50%向上させることができた。また、静電耐圧も従来のLED素子に比較して5倍以上であった。

【0054】[実施例2] 実施例1の発光素子において、n電極形成層4と活性層6との間に、アンドープ窒化物半導体 (GaN) 層5を500オングストロームの膜厚で形成した以外は、実施例1と同様に作成した。す

なわち、実施例2ではn電極形成層4を形成した後、シランガスのみを止め、1050℃で同様にしてアンドープGa<sub>0.9</sub>N層を500オングストロームの膜厚で成長させ、次いで活性層6を成長させる。以上のように形成した発光素子は、超格子層であるn電極形成層4の上に直接活性層を成長させたものに比較して、アンドープGa<sub>0.9</sub>N層がバッファ層として作用するので、活性層の結晶性を良くすることができ、実施例1に比較して出力を20%向上させることができた。

【0055】[実施例3] 実施例1においてn電極形成層4を成長させる際に、アンドープGa<sub>0.9</sub>N層よりなる第1の窒化物半導体層を40オングストロームと、Siを $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層からなる第2の窒化物半導体層を60オングストロームとを300層ずつ交互に積層して、総膜厚3μmの超格子構造とする他は実施例1と同様にしてLED素子を得たところ、実施例1とほぼ同等の特性を有するLED素子が得られた。

【0056】[実施例4] 図2は本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、レーザの共振面に平行な方向で素子を切断した際の図を示している。以下、この図を元に実施例4について説明する。

【0057】実施例1と同様にして、サファイア(C面)よりなる基板20の上に、200オングストロームのGa<sub>0.9</sub>Nよりなるバッファ層21、5μmのアンドープGa<sub>0.9</sub>N層22、20オングストロームのアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる第1の窒化物半導体層と、20オングストロームのSiドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなる第2の窒化物半導体層とが積層されてなり総膜厚3μmの超格子構造のn電極形成層23を成長させる。

【0058】なお、サファイア基板の他、基板にはサファイアのような窒化物半導体と異なる材料よりなる基板の上に第1のGa<sub>0.9</sub>N層を成長させ、その第1のGa<sub>0.9</sub>N層の上に、SiO<sub>2</sub>等、窒化物半導体が表面に成長しにくい保護膜を部分的に形成し、さらにその保護膜を介して、前記第1のGa<sub>0.9</sub>N層の上に第2のGa<sub>0.9</sub>N層を成長させ、SiO<sub>2</sub>の上に第2のGa<sub>0.9</sub>N層を横方向に成長させて、横方向で第2のGa<sub>0.9</sub>N層が繋がって第2のGa<sub>0.9</sub>N層を基板とした窒化物半導体基板を用いることが窒化物半導体の結晶性を良くする上で非常に好ましい。この窒化物半導体基板を基板とする場合にはバッファ層を特に成長させる必要はない。

【0059】(アンドープ窒化物半導体層24) 次に温度を800℃にしてTMI、TMG、アンモニアを用いアンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるアンドープ窒化物半導体層を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0060】(n側クラッド層25) 次に、1050℃にして、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al

0.2Ga<sub>0.8</sub>N層、20オングストロームと、アンドープ(undoped) Ga<sub>0.9</sub>N層、20オングストロームとを交互に200層積層してなる総膜厚0.8μmの超格子構造とする。n側クラッド層254はキャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくはAlGa<sub>0.9</sub>Nを含む超格子層とすることが望ましく、超格子層全体の膜厚を100オングストローム以上、2μm以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、2μm以下で成長させることが望ましい。さらにまた、このn側クラッド層の中央部の不純物濃度を大きくして、両端部の不純物濃度を小さくすることもできる。

【0061】(n側光ガイド層26) 続いて、Siを $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるn側光ガイド層26を0.1μmの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層26は、活性層の光ガイド層として作用し、Ga<sub>0.9</sub>N、InGa<sub>0.9</sub>Nを成長させることが望ましく、通常100オングストローム～5μm、さらに好ましくは200オングストローム～1μmの膜厚で成長させることが望ましい。このn側光ガイド層5は通常はSi、Ge等のn型不純物をドープしてn型の導電型とするが、特にアンドープにすることもできる。

【0062】(活性層27) 次に、800℃で、25オングストロームの厚さのアンドープIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる井戸層と、50オングストロームの厚さのアンドープIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる障壁層とを交互に積層してなる総膜厚200オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層27を成長させる。すなわち、この活性層27は、障壁層3層と井戸層2層とを、障壁層+井戸層+障壁層+井戸層+障壁層となるように積層して構成した。

【0063】(p側キャップ層28) 次に、1050℃でバンドギャップエネルギーがp側光ガイド層8よりも大きく、かつ活性層6よりも大きい、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなるp側キャップ層28を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp側キャップ層28はp型不純物をドープした層としたが、膜厚が薄いため、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型、若しくはアンドープとしても良く、最も好ましくはp型不純物をドープした層とする。p側キャップ層28の膜厚は0.1μm以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。0.1μmより厚い膜厚で成長させると、p型キャップ層28中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。Alの組成比が大きいAlGa<sub>0.9</sub>N程薄く形成するとLD素子は発振しやすくなる。例えば、Y値が0.2以上のAl<sub>Y</sub>Ga<sub>1-Y</sub>Nであれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層76の膜厚の下限は特に限定し

ないが、100オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0064】(p側光ガイド層29)次に、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層28より小さい、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp側光ガイド層29を0.1μmの膜厚で成長させる。この層は、活性層の光ガイド層として作用し、n側光ガイド層26と同じくGa<sub>0.9</sub>N、InGa<sub>0.9</sub>Nで成長させることが望ましい。また、この層はp側クラッド層30を成長させる際のバッファ層としても作用し、100オングストローム〜5μm、さらに好ましくは200オングストローム〜1μmの膜厚で成長させることにより、好ましい光ガイド層として作用する。このp側光ガイド層は通常はMg等のp型不純物をドープしてp型の導電型とするが、特に不純物をドープしなくても良い。

【0065】(p側クラッド層30)次に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層、20オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>0.9</sub>N層、20オングストロームとを交互に積層してなる総膜厚0.8μmの超格子層よりなるp側クラッド層30を成長させる。この層はn側クラッド層25と同じくキャリア閉じ込め層として作用し、超格子構造とすることによりp型層側の抵抗率を低下させるための層として作用する。このp側クラッド層30の膜厚も特に限定しないが、100オングストローム以上、2μm以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1μm以下で成長させることが望ましい。このp側クラッド層の中央部の不純物濃度を大きくして、両端部の不純物濃度を小さくすることもできる。

【0066】(p側コンタクト層31)最後に、Mgを $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp側コンタクト層10を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層は500オングストローム以下、さらに好ましくは400オングストローム以下、20オングストローム以上に膜厚を調整すると、p層抵抗が小さくなるため閾値における電圧を低下させる上で有利である。

【0067】反応終了後、反応容器内において、ウェーハを窒素雰囲気中、700℃でアニーリングを行い、p層をさらに低抵抗化する。アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図2に示すように、RIE装置により最上層のp側コンタクト層31と、p側クラッド層30とをエッチングして、4μmのストライプ幅を有するリッジ形状とする。

【0068】リッジ形成後、図2に示すように、リッジストライプを中心として、そのリッジストライプの両側に露出したp側クラッド層30をエッチングして、n電極11を形成する第2の窒化物半導体層23の表面を露出させる。

【0069】次にリッジ表面の全面にNi/Auよりな

るp電極32を形成する。次に、図2に示すようにp電極32を除くp側クラッド層30、p側コンタクト層31の表面にSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜35を形成し、この絶縁膜35を介してp電極32と電氣的に接続したpパッド電極33を形成する。一方先ほど露出させたn側コンタクト層4の表面にはWとAlよりなるn電極34を形成する。

【0070】電極形成後、ウェーハのサファイア基板の裏面を研磨して50μm程度の厚さにした後、サファイアのM面でウェーハを劈開して、その劈開面を共振面としたバーを作製する。一方、ストライプ状の電極と平行な位置でバーをスクライブで分離してレーザ素子を作製する。そのレーザ素子形状が図2である。なおこのレーザ素子を室温でレーザ発振させたところ、従来の37時間連続発振した窒化物半導体レーザ素子に比較して、閾値電流密度は2.0kA/cm<sup>2</sup>近くにまで低下し、閾値電圧も4V近くになり、寿命は500時間以上に向上した。

【0071】[実施例5]実施例1において、n電極形成層4成長時に、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたGa<sub>0.9</sub>N層を20オングストローム成長させてなる第1の窒化物半導体層と、アンドープのAl<sub>0.10</sub>Ga<sub>0.90</sub>N層を20オングストローム成長させてなる第2の窒化物半導体層とのペアを250回成長させ、総膜厚1.0μm(10000オングストローム)の超格子構造よりなるn電極形成層4を成長させる他は実施例1と同様にして行ったところ、実施例1とほぼ同様に良好な結果が得られた。

【0072】[実施例6]実施例6は実施の形態2に基づく一実施例に係るLED素子であって、以下のように作製される。

【0073】まず、実施例1と同様にして、サファイア(C面)よりなる基板1上にGa<sub>0.9</sub>Nよりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。次に、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させ、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGa<sub>0.9</sub>N層41を1.5μmの膜厚で成長させ、続いて1050℃で、TMG、アンモニアガス及びシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>0.9</sub>N層42を2.35μmの厚さに成長させる。

【0074】続いて1050℃で、TMG、アンモニアガス及びシランガスを用い、第2の窒化物半導体層43bとしてSiを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGa<sub>0.9</sub>N層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同濃度にてシランガスを止め第1の窒化物半導体層43aとしてアンドープGa<sub>0.9</sub>N層を75オングストロームの膜厚で成長させる。これを1周期として15周期繰り返して、75オングストロームのアンドープGa<sub>0.9</sub>N層からなる第1の窒化物半導体層と、SiドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる第2

オングストロームの第2の窒化物半導体層とからなる1500オングストロームの厚さのn型超格子層43を形成する。

【0075】次に、温度を880℃にして、N<sub>2</sub>キャリアガスとし、TEG及びNH<sub>3</sub>を用いてGa<sub>0.4</sub>Nからなる200オングストロームの障壁層を成長させ、続いて温度を800℃にして、N<sub>2</sub>キャリアガスとし、TEG、TMI及びNH<sub>3</sub>を用いてIn<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>N層を30オングストロームの膜厚で成長させ、以下同様の成長を交互に繰り返すことにより、多重量子井戸構造を有する活性層44を成長させる。尚、この多重量子井戸構造を有する活性層44は、最外層を障壁層とする6層の井戸層と7層の障壁層からなり、合わせて1600オングストロームの厚さを有する。このGa<sub>0.4</sub>Nからなる障壁層の厚さは、好ましくは100～300オングストロームに設定され、さらに好ましくは200～300オングストロームに設定される。障壁層の厚さが100オングストローム以下では、発光出力が低下し、300オングストローム以上では、順方向動作電圧が上昇するからである。

【0076】次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp側クラッド層（p型AlGa<sub>0.9</sub>N層）45を300オングストロームの膜厚で成長させる。続いて1050℃で、TMG、アンモニア、Cp2Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp側コンタクト層46を1500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0077】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0078】アニーリング後、実施例1と同様にして、p電極9と、そのp電極9の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極10及びn電極11を形成する。最後にp電極9の表面を保護するためにSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜12を図1に示すように形成した後、ウェーハをスクライブにより分離して350μm角のLED素子とする。

【0079】このLED素子は順方向電流20mAにおいて、順方向電圧V<sub>f</sub>3.2Vで520nmの緑色の発光を示し、静電耐圧も従来のLED素子に比較して4倍以上であった。

【0080】[実施例7] 実施例7は実施の形態3に基づく一実施例に係るLED素子であって、以下の点で実施例6と異なる他は、実施例6と同様に作製される。すなわち、実施例7では実施例6と同様の条件で、アンドープGa<sub>0.9</sub>N層41を0.5μmの膜厚で成長させた後、実施例6の第2の窒化物半導体層43bと同一条件で第2の窒化物半導体層53bを25オングストロームの膜

厚で成長させ、続いて実施例6の第1の窒化物半導体層43aと同一条件でアンドープGa<sub>0.9</sub>N層を75オングストロームの膜厚で成長させる。これを1周期として350周期繰り返し、75オングストロームのアンドープGa<sub>0.9</sub>N層からなる第1の窒化物半導体層と、SiドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる25オングストロームの第2の窒化物半導体層とからなる3.5μmの厚さのn型超格子層53を形成する。

【0081】以下、実施例6と同様にして、多重量子井戸構造を有する活性層44、p側クラッド層（p型AlGa<sub>0.9</sub>N層）45及びp側コンタクト層46を成長させて、アニーリングによりp型層をさらに低抵抗化し、さらに、p電極9と、pパッド電極10、n電極11及び絶縁膜12を形成して、ウェーハをスクライブにより分離して350μm角のLED素子とした。

【0082】以上のように作製した実施例7のLED素子は順方向電流20mA、順方向電圧V<sub>f</sub>3.4Vにて、520nmの緑色発光を示し、静電耐圧も従来のLED素子に比較して5倍以上であった。

#### 【0083】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の窒化物半導体素子では、基板と活性層の間に、複数の層が積層された超格子構造の前記n電極形成層を備えているので、LED、LD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、V<sub>f</sub>、閾値電圧を低下させかつ素子の信頼性を向上させることができる。また本明細書ではLED、レーザ素子について説明したが、本発明は受光素子、太陽電池の他、窒化物半導体の出力を用いたパワーデバイス等、窒化物半導体を用いたあらゆる素子に適用することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1に係る一実施例のLED素子の構造を示す模式断面図。

【図2】本発明の実施の形態1に係る他の実施例のLED素子の構造を示す模式断面図。

【図3】本発明の実施の形態2に係るLED素子の構造を示す模式断面図。

【図4】本発明の実施の形態3に係るLED素子の構造を示す模式断面図。

#### 【符号の説明】

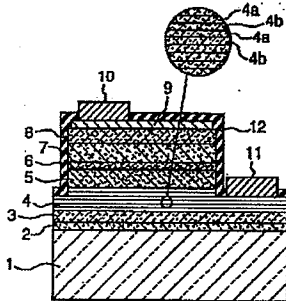
- 1 基板
- 2 バッファ層
- 3、5、22、24、41 アンドープ窒化物半導体層
- 4、23 超格子層からなるn電極形成層
- 6、44 活性層
- 7、45 p側クラッド層
- 8、46 p側コンタクト層
- 9 透光性p電極
- 10 pパッド電極
- 11 n電極

12 絶縁膜

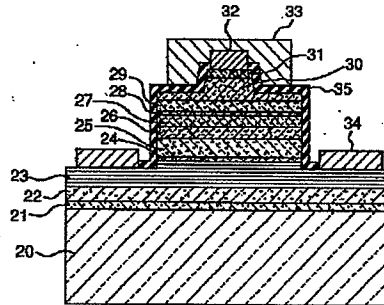
42 超格子構造でないn電極形成層

43 n型超格子層

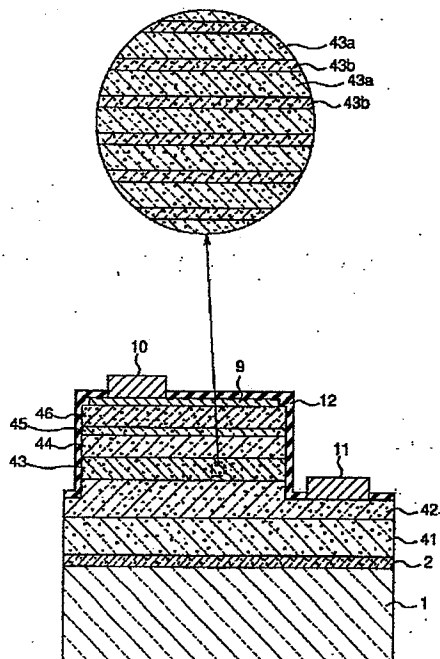
【図1】



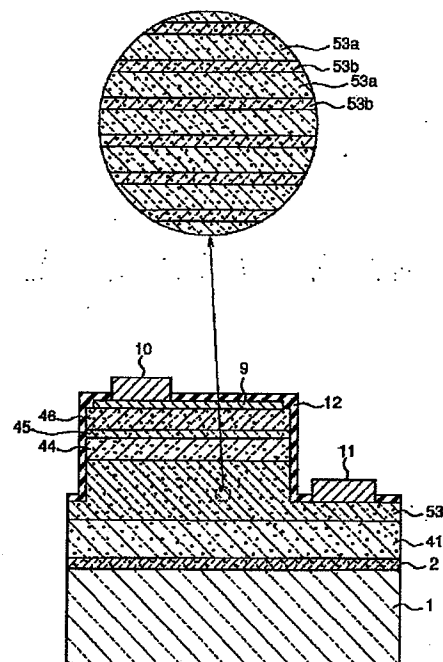
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 谷沢 公二  
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化  
学工業株式会社内

(72)発明者 向井 孝志  
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化  
学工業株式会社内

(72)発明者 中村 修二  
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化  
学工業株式会社内

(13) 冊2000-68594 (P2000-6JB綴

Fターム(参考) 5F041 AA03 CA04 CA05 CA14 CA34  
CA40 CA65 CB04 CB05 FF01  
FF11  
5F073 AA04 AA55 AA71 AA73 AA74  
AA76 AA77 BA09 CA07 CB05  
DA05 EA23